

引用格式: Hu Ningke, Li Xin. Identification and Analysis of Archeological Remnant Using Remote Sensing Data in Juyan Oasis of Northwestern China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(5): 890-897. [胡宁科, 李新. 居延绿洲古遗址的遥感识别与分析[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(5): 890-897.]

居延绿洲古遗址的遥感识别与分析

胡宁科^{1,2}, 李 新¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;
2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 历史时期各种人类活动的考古遗迹对于重建过去的人类活动变化和理解区域环境演变有重要作用。黑河流域下游的古居延绿洲在过去不同的历史阶段曾有过多次繁荣的农业屯垦活动, 反映过去人类活动的大量古遗迹残留在无数的沙包和沙丘中。综合高分辨率遥感影像和野外实地的现场调查数据, 依据古遗址表现在遥感资料上的各种影像特征, 辨识和解译出了古绿洲上以往传统野外考古调查中难以发现的部分历史时期未知小型古遗址。通过遥感新发现的未知古遗址主要分布于古绿洲南部的绿城和 BJ2008 城遗址附近, 弥补了研究区过去野外考古调查中部分空白区域缺失的考古遗址信息。

关 键 词: 考古; 人类活动; 遥感; 黑河; 丝绸之路

中图分类号: TP 753; K 854. 1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)05-0890-08

1 引 言

自从文明兴起, 人类就通过各种方式改变地球的表层环境, 以获取有价值的资源, 聚居农业活动是人们改变地球表层最重要的方式之一^[1-4]。考古即探寻和研究古代人类通过各种活动遗留下来的遗物和遗址, 以研究和认识古代社会的历史及人类活动状况。遥感考古技术始于 20 世纪初期英国科学家利用热气球开始的航空考古遗址研究, 航空考古技术在二次世界大战期间及战后社会重建与经济发展时的文物保护中得到了进一步的重视和发展^[5]。从 20 世纪 50 年代人造卫星的发射成功到 21 世纪初, 各种卫星的对地成像和信息技术的迅猛发展为空间遥感考古提供了新的平台。近些年来, 多光谱、多角度、多分辨率、多尺度的光学遥感数据和多波段、多极化、多模式的微波遥感数据为遗址考古、环境考古、文化景观考古、古地理重建等各类考古学提供了丰富的数据和多源研究途径, 在国内外遥感考古中发挥了重要作用^[6-10]。与传统的田野考古方法相比

较, 遥感技术可以实现从整体到局部研究工作的开展, 还可以弥补一些人迹罕至、难以进入地区的考古遗迹信息, 其自身的众多优势使其在未来的考古应用中将会扮演更重要的角色^[11]。

中国是世界上干旱地区分布最广泛的国家之一, 干旱区面积接近全国土地总面积的三分之一, 区内的生态环境和土地利用在过去 2 000 多年中发生了巨大变化; 特别是作为干旱区最重要的水资源, 内陆河流域孕育了干旱区许多的绿洲文明, 是古往今来干旱区人类活动和农业生产的主要场所^[12-16]。然而, 受自然因素和人类活动的影响, 历史时期很多生态环境良好、适于人类生存的古绿洲现在已经沙漠化, 大量古代人类活动的遗迹残留在沙漠中^[13-15, 17-20]。在开展沙漠化古绿洲历史时期人类活动和环境演变过程的研究时, 尽管已经无法直接观测到过去地表景观的变化状况, 但残留于沙漠中的各类考古遗迹是历史时期人类活动和环境变化的直接证据和第一手资料^[21-23]。受沙漠环境中干旱少雨且蒸发大的极端气候影响, 反映历史时期人类活动

收稿日期: 2013-05-09; 修订日期: 2013-08-12
基金项目: 中国科学院西部行动计划三期项目“黑河流域生态—水文遥感产品生产算法研究与应用试验”(KZCX2-XB3-15), 国家杰出青年科学基金项目“流域尺度陆面数据同化系统研究”(40925004)资助。
作者简介: 胡宁科(1983—), 男, 陕西彬县人, 博士研究生, 主要从事干旱区绿洲演变、环境考古、遥感考古等研究。
E-mail: changsheng0909@163.com。

的大量古遗址经过几千年仍残存于沙漠中,这些残存的古遗址是开展古绿洲历史时期人类活动和环境演变过程研究的重要数据源。

黑河流域是中国西北内陆干旱区重要的内陆河流域之一,其上游发源于青藏高原北部的祁连山脉,中游流经甘肃省张掖盆地,最后注入内蒙古自治区的额济纳地区。额济纳绿洲是现代黑河的尾间绿洲,是额济纳当地人们生存和生产的主要场所,而位于额济纳绿洲东南面的古居延绿洲则是历史时期黑河的尾间绿洲(图1)。古居延绿洲在历史时期植被丰茂,充足的弱水水资源滋润了古绿洲良好的生态环境,保证了古绿洲上人类活动的顺利开展^[18]。然而在过去2 000多年里,古居延绿洲在多种因素的共同作用下已经沙漠化,黑河下游人类活动的主要场所已经由古居延绿洲转移到现代额济纳绿洲。历史资料和考古发现表明,古居延绿洲在历史时期的多个不同阶段曾有过繁荣的人类活动,如今残留在沙漠中大量而丰富的各种遗址和遗物是古代人类活动的见证。

自从20世纪初,俄国探险家科兹洛夫在黑城遗址进行首次考古探险和挖掘后,国内外众多学者和组织先后从古居延地区进行了多次野外探险与考古调查工作,发现了大量古代人类活动的遗迹,如城址、障城、烽燧、寺庙、佛塔、房址、墓葬、灌溉渠系和古耕地等遗址,以及汉简、文书、石磨、石碾、砖瓦、瓷器、陶片和铁器等遗物^[24-28]。传统的田野考古方法可以发现和发掘大部分古遗址,但由于古居延绿洲已经沙漠化,部分古遗址被沙包和流沙所包围,特别是一些目标较小的古遗址隐藏于无数沙包和沙丘中难以发现。此外,古绿洲部分区域内风沙侵蚀严重,密集沙包和流动沙丘阻挡了车辆的进入,传统的野外考古调查难以到达这些区域。遥感影像的最大优势在于能从空中观测,基本不受地形地貌影响,几乎可以顾及到研究区的任何区域,可以识别出隐藏于沙包和沙丘中残存的小型古遗址。本文在充分收集和整理研究区以往公开发表的各种考古资料的基础上,通过分析已发现考古遗址的空间分布状况,认为研究区的部分区域内仍然有些历史时期的古遗址尚未发现和发掘,利用高分辨率遥感影像对比识别出了古绿洲多处未被发现的小型古遗址,并通过野外实地调查对部分典型的古遗址进行了现场验证和周围环境考察。

2 数据源与研究方法

2.1 研究方法

综合考古调查资料分析,遥感影像解译和野外

实地调查验证的方法用于沙漠环境中未知古遗址的识别工作。以往公开发表的考古调查资料主要用于获取和分析研究区已发现古遗址的空间分布情况,以判定古绿洲可能存在未知遗址的大概区域和范围;高分辨率遥感影像主要用于室内人工目视识别和解译以往传统考古调查中可能未发现的未知古遗址;野外实地调查主要用于现场验证遥感影像辨识结果的准确性,并获取未知古遗址的其他相关信息。

历史时期人类活动的古遗址基本都属于人工建筑物,其外形和轮廓都有固定的形状和特征,表现在遥感影像上一般为规则的方形或多边形等几何图案,并具有一定的线性、纹理、阴影等几何特征。通过分析发现古遗址的空间分布特点后,确定可能存在未知遗址的大致空间范围和区域,依据古遗址具有的典型影像特征,人工目视对比和解译出可能的古遗址信息,并通过野外实地调查对部分典型的未知遗址进行现场确认和周围环境考察。

2.2 数据源及预处理

除了收集到研究区已正式发表的考古调查报告外^[24-26,28-31],本研究共收集到两种高分辨率遥感影像:一种是1969年9月的CORONA影像,空间分辨率约为3 m。由于获取年代较早,过去的人类活动古遗址受环境变化影响相对较小,可用于反映较早时期的古绿洲环境;但由于其为黑白相片,表现力不够,因而古遗址特征表现不明显。另一种为2010年4月的Geo-eye影像,空间分辨率约为0.5 m,可与CORONA影像配合使用。Geoeye影像呈假彩色合成的空间构图,且空间分辨率更高,成为沙漠环境中历史时期人类活动古遗址识别的最主要信息源。此外获取于2003年5月的Landsat ETM+影像主要用于制图背景。

遥感数据的预处理包括:通过野外GPS实测的多个控制点的多项式法,对遥感影像进行了几何校正;利用专业软件对多景校正的数据进行拼接处理,并以研究区为边界进行裁剪得到古绿洲的影像数据;采用直方图均衡化和标准差方法对所有影像进行了拉伸和增强处理,以突出遥感数据的影像特征。

3 结果与讨论

3.1 古遗址的空间分布

20世纪初到21世纪的100多年中,古居延地区先后有过多次以不同组织、协会或个人名义开展的大小规模的野外探险和考古调查活动,发现了大量历史时期人类活动的古遗址,图2展示了历史时期人类农业活动的主要发生区——古居延绿洲上已发现古遗

址的空间分布。重要古城址是研究区目前发现的不同历史时期的大型古城遗址,古城址的命名都来自原始考古调查报告中的编号^[24,26,28-31]。其中,K710 城、K688 城和 K749 城属于汉代的古城址,K789 城属于

隋唐时期的古城址,绿城现残存多个历史时期的遗迹,这些古城遗址都是由 20 世纪 30 年代中瑞西北科学考察团调查时首次发现^[24];而 BJ2008 城遗址则于 2008 年通过 SPOT 遥感影像发现^[28]。

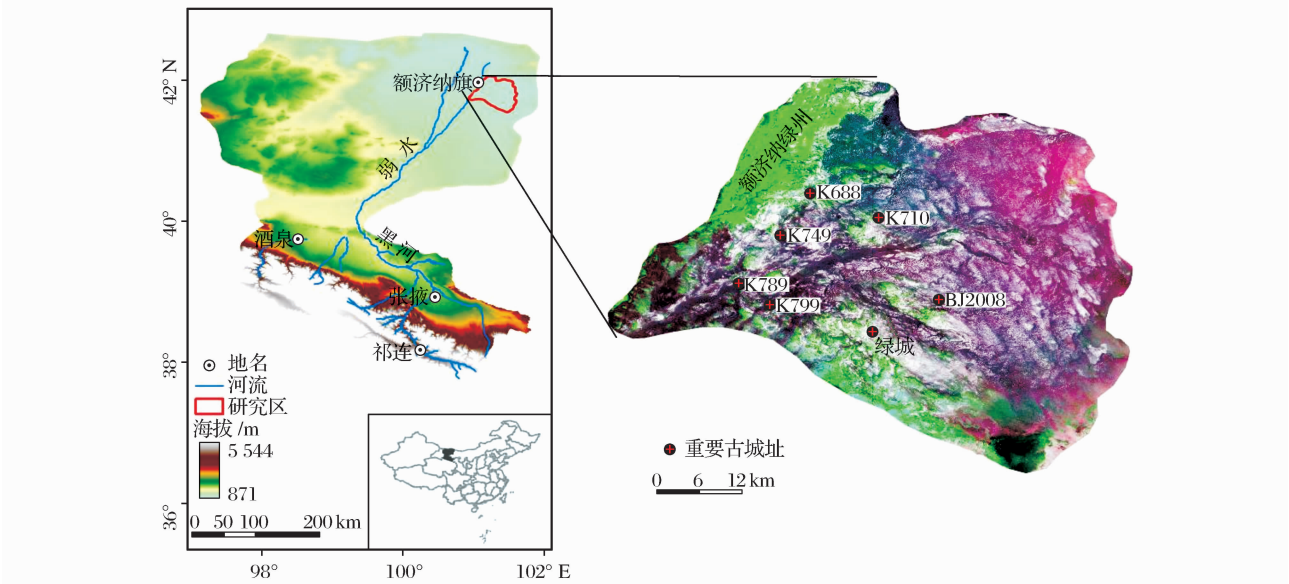


图 1 黑河流域与古居延绿洲地理位置略图(背景分别为 DEM 和 ETM+ 影像)

Fig. 1 Geographical locations of Heihe River Basin and ancient Juyan Oasis(Backgrounds are DEM and ETM+ images)

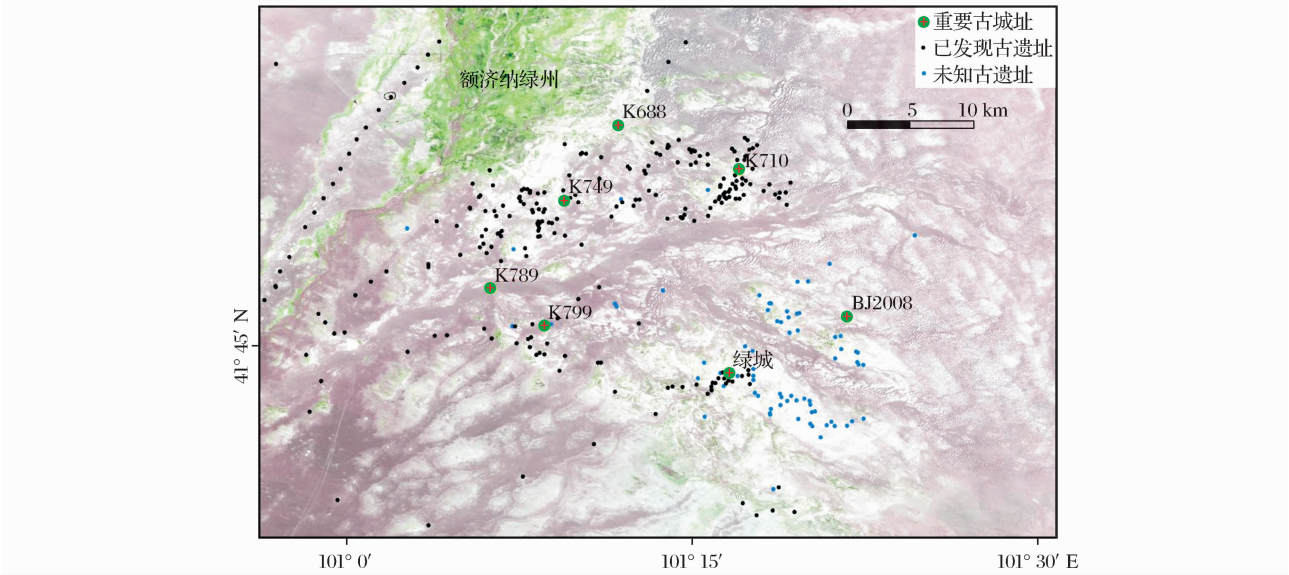


图 2 古居延绿洲上已发现古遗址和未知古遗址的空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of excavated remnants and unknown remnants in ancient Juyan Oasis

从图 2 可以看出,除了周围戈壁滩上分布的少部分古遗址外,历次野外考古调查中已发现的古遗址均大量散布于古绿洲上,但目前已发现的历史时期古遗址主要分布于古绿洲的北部区域,而古绿洲南部区域已发现的古遗址相对较少。从重要古城址周围遗址的空间分布来看,绿洲北部的 K710、K688

和 K749 城遗址周围均分布有大量的古遗址,绿洲南部的 K799 和绿城遗址周围也都分布有大量古遗址;但绿城周围已发现的古遗址主要分布于此城址的西边,而绿城的东边和南边大片风蚀古耕地区域以及 BJ2008 城遗址周围目前并未发现任何古遗址。大型城址的周围一般都分布有大量的小型遗址,特

别是在以农业活动为主的历史时期,大型古城址周围一定存在大量的人类活动。研究表明,BJ2008 城修建于汉代,其规模是古绿洲上目前所发现古城址中较大的城址之一^[28];而绿城在历史时期的多个阶段都曾是重要的人类活动聚居区,农业屯垦活动异常繁荣^[32-33],在这两个古城遗址周围肯定还存在大量尚未发现的小型遗址,因而判定绿城遗址的东南部和 BJ2008 城遗址周围是以往传统野外考古调查中遗漏的主要空白区域。

残留于沙漠中历史时期的小型古遗址现存状态不一,有的被沙包或沙丘完全覆盖,有的部分掩埋于沙丘或沙包中,还有一部分裸露于风蚀地中,被沙包或沙丘所包围。裸露的古遗址在高分辨率遥感影像上表现为方形或多边形等规则的几何纹理特征,残存有部分墙面的建筑物还表现有一定的阴影特征,这些几何纹理特征和阴影特征是利用遥感影像辨识未知古遗址的主要依据。从未知古遗址的空间分布看(图 2),通过高分辨率遥感影像发现的未知遗址主要分布于古绿洲南部区域的绿城遗址东南边与 BJ2008 城遗址周围,K799 城遗址周围以及古绿洲的北部区域只发现零散的未知古遗址。通过遥感资料新发现的未知古遗址在空间分布上基本弥补了以往传统考古调查中部分空白区域遗漏的遗址信息,保证了重要古城址周围都分布有大量人类活动的小型遗址,特别是弥补了绿城和 BJ2008 城遗址周围缺失的部分历史时期人类活动信息。

3.2 野外实地调查与验证

由于研究区已经沙漠化,地表形态各异,地貌类型较复杂,古绿洲上残存的历史时期古遗址基本上都已残破不堪,且受到沙包和流沙覆盖的干扰,遥感影像上记录的古遗址信息并不完整,因而依据影像特征辨识的历史时期古遗址需要通过野外实地调查进行现场验证,从而判断依据遥感影像辨别未知古遗址识别结果的准确性和可靠性。此外,遥感影像上仅仅可

以显示探测对象的形状、大小、纹理和阴影等外在特征,并不能确定这些未知遗址的建筑原料、修建方式、砌筑年代、地面遗物及目前残存状态等信息,这些未知信息同样需要通过野外实地的现场调查来获得。

本研究选择了未知古遗址中 15 个遗址样点进行野外实地调查与验证(图 3),这些遗址点的经纬度和高程信息如表 1 所示。通过与现场考察结果的详细对比,发现通过高分辨率遥感影像辨识的古遗址,其实地特征都为历史时期的人工建筑物遗址。另外,通过现场考察未知古遗址的建筑用料和砌筑方式,结合古遗址周围残留的地面遗物,初步推测本文利用遥感影像新发现的绝大部分未知古遗址应该修筑和使用于西夏一元时期(A. D. 1028~1375),只有个别的未知古遗址推测可能为汉代的建筑物。

不同类型和用途的古遗址,其建筑方式、面积大小等相关信息都不同;处于不同位置和环境下的古遗址,目前残存状态也不完全一致。综合考虑未知古遗址表现出的影像特征、残存遗址大小、遗址类型、遗址

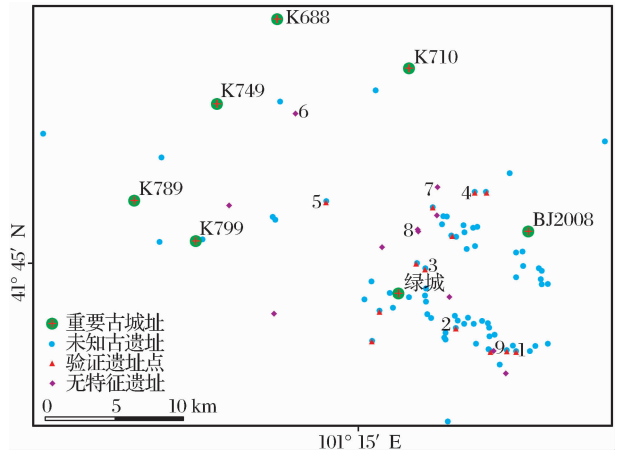


图 3 野外实地调查的验证遗址点与发现的无影像特征遗址点空间分布

Fig.3 Spatial distributions of validated remnants and no image feature remnants that were investigated and found during the fieldwork

表 1 野外实地验证遗址样点的经纬度信息

Table 1 Longitude and Latitude information of the sampling remnants for validating during the fieldwork

经度/°E	纬度/°N	高程/m	经度/°E	纬度/°N	高程/m
101.353017	41.691928	931	101.288286	41.749611	939
101.350744	41.695056	932	101.287756	41.749450	938
101.347378	41.692400	933	101.311597	41.767783	939
101.336964	41.691806	934	101.298697	41.786347	940
101.313972	41.706947	935	101.333928	41.796392	935
101.259122	41.698700	938	101.326297	41.796228	935
101.261050	41.715839	941	101.228997	41.789825	951
101.293731	41.746033	937			

所处的周围环境等因素选择了野外现场验证点中的 5 个典型遗址样点,分别展示和对比了不同典型遗址

的影像特征和实地特征(图 4)。图 4 中的每个典型遗址分别顺序对应于图 3 中的 1~5 号遗址点。

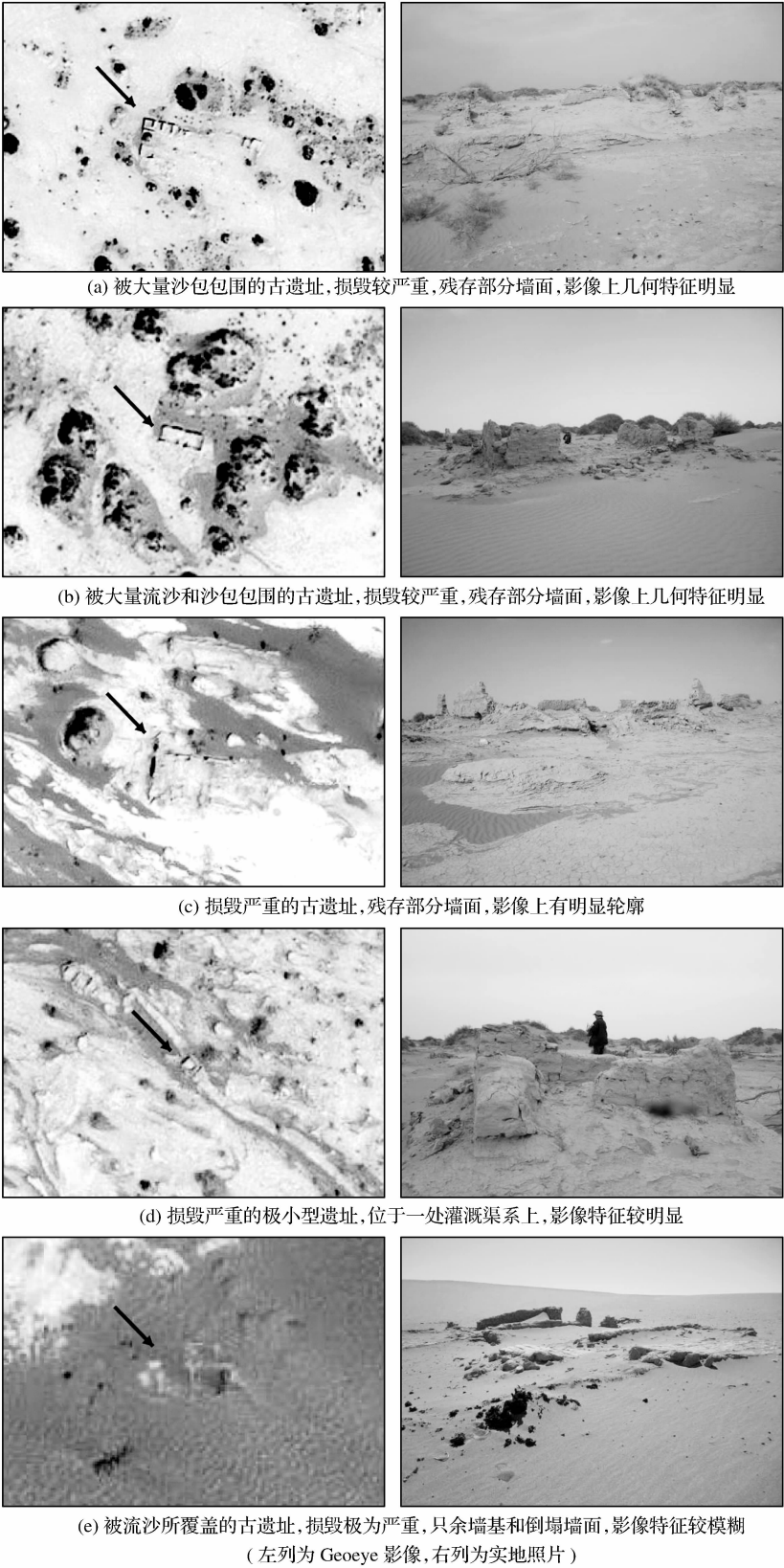


图 4 对比典型遗址的影像特征与实地特征

Fig. 4 Compare the image features with the ground characteristics for different remnants

此外,在野外实地调查过程中遇到少量的其他残存古遗址,如图 3 中的无特征遗址分布所示,图 5 展示了其中较为典型的 4 个古遗址样点的实地特征

(分布顺序对应于图 3 中的 6~9 号遗址点)。由于受到风沙侵蚀,损毁严重,只余下基础部分,这些古遗址无任何影像特征,无法从遥感影像上进行辨识。

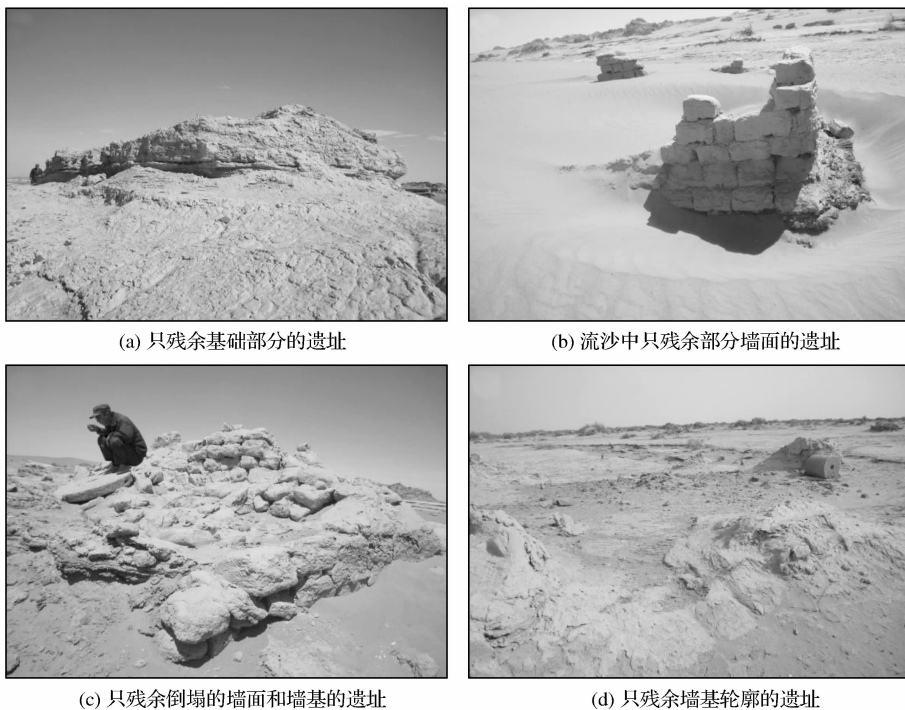


图 5 野外调查的无影像特征古遗址的现场照片

Fig. 5 Ground photographs and truths of no image feature remnants found during the fieldwork

4 结 语

在分析以往传统野外考古调查中已发现古遗址空间分布的基础上,通过高分辨率遥感影像辨识和解译出了古居延绿洲以往未发现和未见报道的部分小型遗址,通过遥感新发现的古遗址数量总计约 70 处,绝大部分未知古遗址位于古绿洲南部区域的绿城和 BJ2008 城遗址附近。从野外现场考察古遗址的建筑方式和类型初步判断,通过遥感新发现的古遗址大部分应属于西夏一元时期,少部分遗址属于汉代建筑。通过遥感新发现的古遗址填补了以往传统考古调查中部分空白区域可能遗漏的遗址信息,特别是弥补了绿城和 BJ2008 两个大型古城址周围缺失的部分遗址信息。新发现的遗址极大地丰富了古居延绿洲历史时期人类活动的考古遗迹信息,对于开展研究区历史时期人类活动和环境变化研究提供了重要的新证据,同时证明了遥感技术在识别沙漠环境中小型目标物时可以发挥巨大作用。尽管通过高分辨率遥感影像发现了一些新的未知古遗址,但对于一些严重沙漠化的区域(如 BJ2008 与 K710 城址的东部和 K688 城址的北部区域),大量流动沙

丘的存在可能严重侵蚀和掩盖掉了部分古遗址,普通光学遥感对此也无能为力,融合高分辨率微波遥感资料有望在未来的沙漠环境古遗址探寻中发挥更重要的作用。

参考文献(References):

- [1] Ramankutty N, Foley J A. Estimating Historical Changes in Global Land Cover: Croplands from 1700 to 1992[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 997-1027.
- [2] Cousins S A O. Analysis of Land-cover Transitions based on 17th and 18th Century Cadastral Maps and Aerial Photographs[J]. *Landscape Ecology*, 2001, 16: 41-54.
- [3] Goldewijk K K, Ramankutty N. Land Cover Change over the Last Three Centuries due to Human Activities: The Availability of New Global Data Set[J]. *Geo Journal*, 2004, 61: 335-344.
- [4] Skalos J, Weber M, Lipsky Z, et al. Using Old Military Survey Maps and Orthophotograph Maps to Analyze Long-term Land Cover Changes-Case Study(Czech Republic)[J]. *Applied Geography*, 2011, 31: 426-438.
- [5] Nie Yueping, Yang Lin. Applications and Development of Archaeological Remote Sensing Technology in China[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(5): 940-951. [聂跃平, 杨林. 中

- 国遥感技术在考古中的应用与发展[J]. 遥感学报, 2009, 13(5): 952-962.]
- [6] McCauley J F, Schaber G G, Breed C S, *et al.* Subsurface Valleys and Geoarchaeology of the Eastern Sahara Revealed by Shuttle Radar[J]. Science, 1982, 218: 1004-1020.
- [7] Clark C D, Garrod S M, Parker P M. Landscape Archaeology and Remote Sensing in Southern Madagascar[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1461-1477.
- [8] Philip G, Donoghue D N M, Beck A R, *et al.* CORONA Satellite Photography: An Archaeological Application from the Middle East[J]. Antiquity, 2002, 76(291): 109-118.
- [9] Goossens R, Wulf A D, Bourgeois J, *et al.* Satellite Imagery and Archaeology: The Example of CORONA in the Altai Mountains[J]. Journal of Archaeological Science, 2006, 33: 745-755.
- [10] Rowlands A, Sarris A. Detection to Exposed and Subsurface Archaeological Remains Using Multi-sensor Remote Sensing[J]. Journal of Archaeological Science, 2007, 34: 795-803.
- [11] Giardino M J. A History of NASA Remote Sensing Contributions to Archaeology[J]. Journal of Archaeological Science, 2011, 38: 2003-2009.
- [12] Zhang Li. Study on the Environmental Changes of the Ancient Loulan Oasis from the Han to the Jin Dynasty[D]. Xi' an: Shaanxi Normal University, 2001. [张莉. 汉晋时期楼兰古绿洲环境变迁动态研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2001.]
- [13] Fan Zili, Mu Guijin, Ma Yingjie, *et al.* Formation and Development of the Artificially Irrigated Oases in the Northern Piedmont of the Tianshan Mountains[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(2): 184-189. [樊自立, 穆桂金, 马英杰, 等. 天山北麓灌溉绿洲的形成和发展[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 184-188.]
- [14] Xie Y W, Chen F H, Qi J G. Past Desertification Processes of Minqin Oasis in Arid China[J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2009, 16(4): 260-269.
- [15] Qin X G, Liu J Q, Jia H J, *et al.* New Evidence of Agricultural Activity and Environmental Change Associated with the Ancient Loulan Kingdom, China, around 1500 Years ago[J]. Holocene, 2012, 22(1): 53-61.
- [16] Zhang Q Q, Xu H L, Li Y, *et al.* Oasis Evolution and Water Resource Utilization of a Typical Area in the Inland River Basin of an Arid Area: A Case Study of the Manas River Valley[J]. Environmental Earth Science, 2012, 66: 683-692.
- [17] Hou Renzhi. Desertification Changes of Eastern River from Remains of Human Activities in Ningxia[J]. Chinese Science Bulletin, 1964, 3: 226-230. [侯仁之. 从人类活动的遗迹探索宁夏河东沙区的变迁[J]. 科学通报, 1964, 3: 226-230.]
- [18] Zhu Zhenda, Liu Shu, Gao Qianzhao, *et al.* The Environmental Changes and Desertification Processes in Historical Period in the Areas of Ancient Juyan-Heicheng Region in Western Inner Mongolia[J]. Journal of Desert Research, 1983, 3(2): 1-8. [朱震达, 刘恕, 高前兆, 等. 内蒙西部古居延—黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程[J]. 中国沙漠, 1983, 3(2): 1-8.]
- [19] Li Bingcheng. Investigation on the Ancient Ruins in the Western Sandy Land of Minqin County[J]. Journal of Desert Research, 1990, 10(2): 35-42. [李并成. 残存在民勤县西沙窝中的古代遗址[J]. 中国沙漠, 1990, 10(2): 35-42.]
- [20] Liu W, Cao S K, Xi H Y, *et al.* Land Use History and Status of Land Desertification in the Heihe River Basin[J]. Natural Hazards, 2010, 53(2): 273-290.
- [21] Turner B L. Prehistoric Intensive Agriculture in the Mayan Lowlands[J]. Science, 1974, 185: 118-124.
- [22] Alizadeh A, Kouchoukos N, Wilkinson T J, *et al.* Human-environmental Interactions on the Upper Khuzestan Plains, Southwest Iran, Recent Investigations[J]. Paleorient, 2004, 30: 69-88.
- [23] Yu Y Y, Guo Z T, Wu H B, *et al.* Reconstructing Prehistoric Land Use Change from Archaeological Data: Validation and Application of a New Model in Yiluo Valley, Northern China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012, 156: 99-107.
- [24] Sommarstrom B. Archaeological Researches in the Edsen-Gol Region Inner Mongolia, Sino-swedish Expedition Publication[M]. Stockholm: Statens Etnografiska Museum, 1956-1958.
- [25] Chu Shibin, Ren Buyun. Cultural Relics Excavated and Unearthed from Ruins of Han Dynasty in Juyan[J]. Cultural Relics, 1978, 1: 1-25. [初师宾, 任步云. 居延汉代遗址的发掘和新出土的简册文物[J]. 文物, 1978, 1: 1-25.]
- [26] Yue Banghu. Surveyed Report on Fire Beacon Ruins of the Han Dynasty in the Downstream of Ejina River[C]//Study Series of Bamboo Slips, Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1984. [岳邦湖. 额济纳河下游汉代烽燧遗址调查报告[C]//汉简研究文集, 兰州: 甘肃人民出版社, 1984.]
- [27] Compilation Committee of Ejina Chorography. Ejina Chorography[M]. Beijing: Chorography Press, 1998. [额济纳旗志编纂委员会. 额济纳旗志[M]. 北京: 方志出版社, 1998.]
- [28] Sohma H, Tian R, Wei J, *et al.* Unrecognized Ruins Interpreted from the High-resolution Satellite Images and Their Significance, in Case of the Lower Reaches of the Heihe River, Inner Mongolia, China[J]. The Association of Japanese Geographers, 2009, 7: 106.
- [29] Stein A. Innermost Asia, Detailed Report of Explorations in Central Asia, Kan-su and Eastern Iran[M]. Oxford: The Clarendon Press, 1928.
- [30] Luo S J. Investigation and Remotely Sensed Observation of Ruins of the Han Dynasty in Juyan[M]. Taipei: Taiwan Ancient Books Publishing Co. Ltd, 2003.
- [31] State Bureau of Cultural Relics. Cultural Relics Atlas of China (Branch of Inner Mongolia Autonomous Region)[M]. Xi' an: Xi' an Map Publishing House, 2003. [国家文物局主编. 中国文物地图集(内蒙古自治区分册)[M]. 西安: 西安地图出版社, 2003.]
- [32] Li Yiyu. Manuscripts Unearthed in Khara Khoto (in Chinese

Volume)[M]. Beijing: Science Press, 1991. [李逸友. 黑城出土文书(汉文文书卷)——内蒙古额济纳旗黑城考古报告之一[M]. 北京: 科学出版社, 1991.]

[33] Li Bingcheng. Study of the Desertification in Hexi Corridor in Historical Period[M]. Beijing: Science Press, 2003. [李并成. 河西走廊历史时期沙漠化研究[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]

Identification and Analysis of Archeological Remnants Using Remote Sensing Data in Juyan Oasis of Northwestern China

Hu Ningke^{1,2}, Li Xin¹

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2. *College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Archaeological ruins in ancient times can play an important role in studying and restoring the past human activities, as well as understanding regional environmental changes. There were many flourishingly agricultural activities in different historical periods that were developed in ancient Juyan Oasis in the downstream of the Heihe River Basin. A large number of historical ruins that reflect past human activities remained in numerous of the nebkhas and sand dunes. This study combined high-resolution remote sensing images and in situ truths investigated during the fieldwork, certain parts of unknown remnants were identified by the image features of ancient remnants that appear in the remotely sensed data, which were not found in the past field archaeological investigations and unreported in the past public literatures. Most of the unknown remnants that were identified using remote sensing images are distributed in the surroundings of the ancient city sites, including Lvcheng and BJ2008. New findings fill the gaps that the historical remnants were missed during the previous field surveys.

Key words: Archaeology; Human activities; Remote sensing; Heihe River; Silk Road